

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2003-141768  
(43) Date of publication of application : 16.05.2003

(51) Int.CI.

G11B 7/135  
G01N 13/10  
G01N 13/14  
G11B 7/09

(21) Application number : 2001-332331

(71) Applicant : RICOH CO LTD  
KANAGAWA ACAD OF SCI & TECHNOL

(22) Date of filing : 30.10.2001

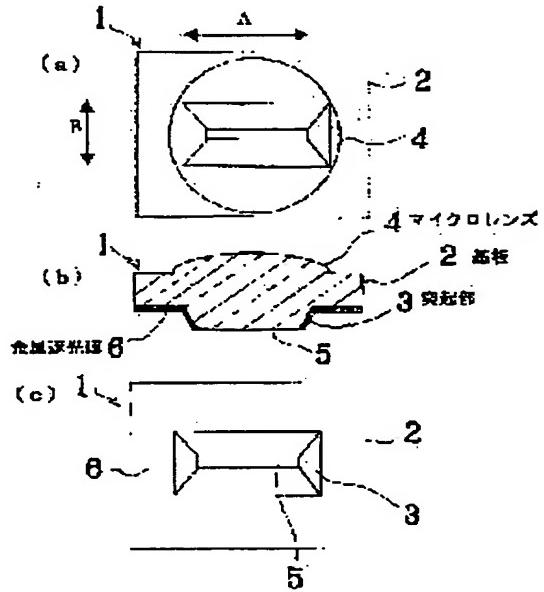
(72) Inventor : TAKAHASHI JUNICHI  
MIFUNE HIROYASU  
OTSU GENICHI  
KOROGI MOTONOB  
YATSUI TAKASHI

## (54) OPTICAL PROBE AND OPTICAL PICKUP

### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To perform the tracking operation with higher speed while providing a light outgoing opening which is hardly to be damaged and very small in size with high accuracy and high reproducibility.

**SOLUTION:** A microlens 4 formed with the same material as that of a substrate 2 is provided on the surface confronted with a protruding part 3 having a tapered off surface on the outside wall and a slender light outgoing part 5 on the tip part while being formed with the same material as that of the substrate 2 formed with a material of high refractive index, and the incident light on the microlens 4 is prevented from being reflected at the border between the microlens 4 and the substrate 2, then the incident light is effectively used. This incident light is converged to the light outgoing part 5 by the microlens 4 to realize a very small light spot on the light outgoing part.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-141768

(P 2 0 0 3 - 1 4 1 7 6 8 A)

(43)公開日 平成15年5月16日(2003.5.16)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 11 B	7/135	G 11 B 7/135	A 5D118
G 01 N	13/10	G 01 N 13/10	G 5D119
	13/14	13/14	B 5D789
G 11 B	7/09	G 11 B 7/09	C
			E

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 17 頁)

(21)出願番号	特願2001-332331(P2001-332331)	(71)出願人	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22)出願日	平成13年10月30日(2001.10.30)	(71)出願人	591243103 財団法人神奈川科学技術アカデミー 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号
		(72)発明者	高橋 淳一 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会 社リコー内
		(74)代理人	100093920 弁理士 小島 俊郎

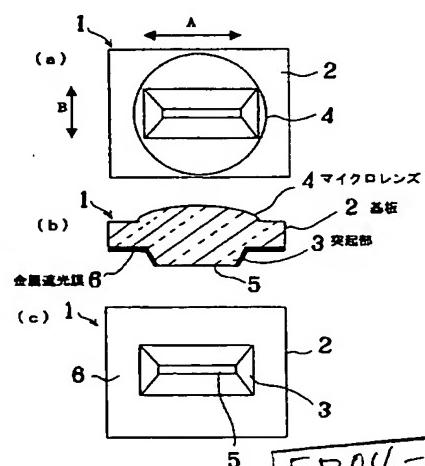
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】光プローブ及び光ピックアップ

## (57)【要約】

【課題】光出射開口が破損しにくく、高精度と高再現性で微小な光出射開口を有するとともに、より高速なトラッキング動作を行う。

【解決手段】高屈折率材料で形成された基板2と同じ材料で形成され、外壁に先細のテーパ一面を有し、先端部に細長形状の光出射部5を有する突起部3と対向する面に、基板2と同じ材料で形成されたマイクロレンズ4を設け、マイクロレンズ4に入射した光がマイクロレンズ4と基板2の境界で反射することを防止し、入射した光を有効に利用する。この入射した光をマイクロレンズ4で光出射部5に集光して、光出射部に非常に小さな光スポットを実現する。



FP04-0063-  
00WC-HP  
04.7.13  
SEARCH REPORT

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高屈折率材料で形成された基板と、基板と同じ材料で形成され、外壁に先細のテープ一面を有し、先端部に細長形状の光出射部を有する突起部と、基板の突起部と対向する面に、基板と同じ材料で形成された集光レンズとを有することを特徴とする光プローブ。

【請求項2】 前記突起部の先端部に設けた光出射部に複数の遮光部を細長形状の長辺方向に略等間隔で複数個配設して、光出射部をスリット状に分割した請求項1記載の光プローブ。

【請求項3】 前記集光レンズの外周部に補強部材を設けた請求項1又は2記載の光プローブ。

【請求項4】 前記集光レンズ側に透光性基板を設けた請求項1、2又は3記載の光プローブ。

【請求項5】 前記集光レンズと基板及び突起部の屈折率をn、集光レンズに入射する光の波長を入としたとき、突起部の先端に設けた細長形状の光出射部の長辺の長さaと短辺の長さbを、

$$a \geq (\lambda / 2n)$$

$$b < (\lambda / 2n)$$

の条件を満たすように光出射部の形状を定めた請求項1乃至4のいずれかに記載の光プローブ。

【請求項6】 請求項1乃至5のいずれかに記載の光プローブを有する光ピックアップであって、記録再生用の光を出射する光学系と光プローブの間に、光学系から出射する光を偏向して光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に走査する光偏向手段を有することを特徴とする光ピックアップ。

【請求項7】 前記光偏向手段としてガルレバノミラーを使用した請求項6記載の光ピックアップ。

【請求項8】 前記光偏向手段として回転多面鏡を使用した請求項6記載の光ピックアップ。

【請求項9】 前記光偏向手段として音響光学偏向器を使用した請求項6記載の光ピックアップ。

【請求項10】 前記光偏向手段として電気光学偏向器を使用した請求項6記載の光ピックアップ用光学素子。

【請求項11】 前記電気光学偏向器は立方体の電気光学結晶で構成され、光が透過する方向と平行な電極が形成され、電極の幅は光が透過する方向に沿って変化する形状に形成されている請求項10記載の光ピックアップ。

【請求項12】 前記電気光学結晶としてLN(LiNbO<sub>3</sub>)結晶を用い、LN結晶の光学軸と平行に電界が加えられるように電極の形状を定めた請求項11記載の光ピックアップ。

【請求項13】 前記電気光学結晶としてドメイン反転型の電気光学結晶を使用した請求項11記載の光ピックアップ。

【請求項14】 前記電気光学結晶に入射する光を光学軸と平行な方向の直線偏光とした請求項11, 12又は

## 1 3記載の光ピックアップ。

【請求項15】 前記光プローブをアームの先端下部に設け、光学系と光偏向手段とともに光偏向手段からの光の光路を変えて光プローブに入射する集光手段をアームの上部に搭載した請求項11乃至14のいずれかに記載の光ピックアップ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、近接場光を発生する光プローブと光ピックアップ用光学素子及び光ピックアップ、特に光記録媒体に対する記録密度の高密度化に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 CDやDVDに代表される光記録媒体は、大容量で小型化にする高密度化の方向に進歩している。このように光記録媒体を高密度化するためには、入射する光の波長λを短波長にするとともにレンズの開口数を大きくして光記録媒体の記録ビットを微小化する必要である。しかし光の回折限界により光の分解能を上げるには限度があり、光記録媒体の記録ビットを回折限界を越えて微小化できないとともに、微小化した記録ビットをクロストークなしで読むことができなくなる。

【0003】 この光の回折限界を越えて記録ビットを微小化する解決策の1つとして近接場光を使用した光プローブが、例えば特開2000-171380号公報に開示されている。特開2000-171380号公報に示された光プローブは、シリコン基板の一方の面に長方形の光入射開口を設け、光入射開口と反対の面に光入射開口から入射された光を集光して出射する光出射開口を設け、光入射開口と光出射開口の間に、光入射開口に直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁を設け、光出射開口は一次元的な長方形の開口に複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状とし、光プローブを軽量化と小型化するとともに、高精度のトラッキング制御ができるようにしている。

【0004】 この光プローブは光出射開口側の長方形形状の短辺の寸法を数10nmにする必要がある。この光プローブを製造するときは、シリコン基板の両面を酸化処理してSi基板の表面と裏面にSiO<sub>2</sub>層を形成し、一方のSiO<sub>2</sub>層側例えば表面からリソグラフィにより、光入射開口とガイド壁を形成するためのレジスト膜のマスクパターンを形成する。このマスクパターン側から裏面まで異方性エッチング処理を行い、光入射開口とガイド壁を形成する。このエッチング処理により形成された部分に表面側から保護材を形成し、例えば電子ビーム描画装置を用いて裏面に光出射開口を形成するためのレジスト膜からなるマスクパターンを形成し、このマスクパターンを例えばフッ素酸緩衝溶液を用いて除去する処理を行い、レジスト膜を除去するとともに保護材を除去し

て、一次元方向に配列された光出射開口を形成している。

【0005】しかしながらシリコン基板の厚さは、各基板間で数 $10\mu\text{m}$ 程度ばらついている。また、エッチングスピードも、エッチング液中に溶解したシリコンの量やエッチング液にとけ込む酸素の量、微妙な温度などにより、大きく変化する。したがって、あらかじめ測定したエッチングスピードとシリコン基板の厚さから数 $10\text{nm}$ の開口寸法が形成されるようにエッチングを停止することは現実には非常に困難である。

【0006】また、小さい光出射開口の周囲に厚い縁ができるため、このままだと記録媒体に数 $10\text{nm}$ の距離まで光出射開口を近づけることができない。そこで縁を除去するが、このときの光出射開口を有する部分の厚さは $10\mu\text{m}$ 程度であるので、縁を除去する際、あるいは除去した後に非常に破損しやすくなる。

【0007】この発明はかかる短所を改善し、光出射開口が破損しにくく、高精度と高再現性で微小な光出射開口を有するとともに、より高速なトラッキング動作を行うことができる光プローブと、より精度の高いトラッキング制御を行うことができる光ピックアップ装置を提供することを目的とするものである。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】この発明に係る光プローブは、高屈折率材料で形成された基板と、基板と同じ材料で形成され、外壁に先細のテーパ一面を有し、先端部に細長形状の光出射部を有する突起部と、基板の突起部と対向する面に、基板と同じ材料で形成された集光レンズとを有することを特徴とする。

【0009】前記突起部の先端部に設けた光出射部に複数の遮光部を細長形状の長辺方向に略等間隔で複数個配設して、光出射部をスリット状に分割することが望ましい。

【0010】また、前記集光レンズの外周部に補強部材を設けたり、集光レンズ側に透光性基板を設けると良い。

【0011】さらに、集光レンズと基板及び突起部の屈折率を $n$ 、集光レンズに入射する光の波長を $\lambda$ としたとき、突起部の先端に設けた細長形状の光出射部の長辺の長さ $a$ と短辺の長さ $b$ を、 $a \geq (\lambda / 2n)$ 、 $b < (\lambda / 2n)$ の条件を満たすように光出射部の形状を定めることが望ましい。

【0012】この発明の光ピックアップは、前記光プローブを有する光ピックアップであって、記録再生用の光を出射する光学系と光プローブの間に、光学系から出射する光を偏向して光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に走査する光偏向手段を有することを特徴とする。

【0013】前記光偏向手段としてガルバノミラーや回転多面鏡あるいは音響光学偏向器又は電気光学偏向器を

使用すると良い。

【0014】また、前記電気光学偏向器は立方体の電気光学結晶で構成し、光が透過する方向と平行な電極が形成され、電極の幅は光が透過する方向に沿って変化する形状に形成されていることが望ましい。

【0015】さらに、電気光学結晶としてLN(LiNbO<sub>3</sub>)結晶を用い、LN結晶の光学軸と平行に電界が加えられるように電極の形状を定めると良い。

【0016】また、前記電気光学結晶としてドメイン反転型の電気光学結晶を使用すると良い。

【0017】また、電気光学結晶に入射する光を光学軸と平行な方向の直線偏光とすることが望ましい。

【0018】また、この発明の光ピックアップは、光プローブをアームの先端下部に設け、光学系と光偏向手段とともに光偏向手段からの光の光路を変えて光プローブに入射する集光手段をアームの上部に搭載したことを特徴とする。

#### 【0019】

【発明の実施の形態】図1はこの発明の光プローブの構成を示し、(a)は正面図、(b)は断面図、(c)は裏面図である。図に示すように、光プローブ1は、高屈折率材料、例えばSi材料で形成された基板2と、基板2と同じ材料で形成され、基板1の一方の面に設けられた突起部3と、基板2と同じ材料で形成され、基板2の突起部3と対向する面に設けられ、光を集光するマイクロレンズ4を有する。突起部3は、図2の斜視図に示すように、先端部が先細となったテーパ一面からなる側面を有する角錐台形状に形成され、角錐台形状の頂点部には細長形状の光出射部5を有する。この細長形状の光出射部5の長辺の寸法はレーザ光の波長以上であり、短辺の寸法は数 $10\text{nm}$ の波長以下に形成され、光出射部5附近に近接場光と伝搬光を発生させる。突起部3が設けられた基板2の面と突起部3の側面には金属遮光膜6を有する。この金属遮光膜6は、例えばAl、Au等で形成され、例えば蒸着法等の薄膜形成技術により光を透過させない程度の膜厚に形成されている。例えばAl材料で金属遮光膜6を形成した場合は、約 $30\text{nm}$ 程度あるいはそれ以上の膜厚で形成されている。

【0020】この光プローブ1を使用した光ピックアップの光学系7は、図3の構成図に示すように、レーザ光源としての半導体レーザ素子(以下、LDという)8とコリメータレンズ9aとビームスプリッタ10とコリメータレンズ9b及び光検出デバイス(以下、PDという)11を有し、光学系7のビームスプリッタ10と光プローブ1の間には偏向器12を有する。偏向器12は例えばモータにより振動するガルバノミラー13からなる。

【0021】この光ピックアップの光学系7で記録媒体14に情報を記録したり、記録媒体14に記録された情報を読み取ると、LD8から出射したレーザ光はコリ

メートレンズ9aで平行光になり、ビームスプリッタ10で直角に反射され、ガルバノミラー13により反射される。ガルバノミラー13により反射したレーザ光は光プローブ1のマイクロレンズ4に入射し、基板2を通り突起部3の先端部に設けた光出射部5に集光する。この光出射部5に集光するレーザ光を通す光プローブ1のマイクロレンズ4と基板2及び突起部3は同じ高屈折率材料、例えば750nm～850nmで屈折率が3.7程度のSi材料で形成されているから、マイクロレンズ4に入射したレーザ光がマイクロレンズ4と基板2の境界及び基板2と突起部3の境界で反射することを防ぐことができ、光プローブ1に入射した光を効率良く利用することができる。また、光プローブ1のマイクロレンズ4に入射した光を、金属遮光膜6で散乱させて突起部3の光出射部5における光強度が大きくなるように集光し、光出射部5の近傍に近接場光を発生させ、記録媒体14に情報を効率良く記録したり再生することができる。また、突起部3の先端から発生する光以外の光を金属遮光膜6で遮断して、読み取り信号のS/Nを向上させることができる。

【0022】また、光プローブ1に入射するレーザ光は、ガルバノミラー13を揺動によりレーザ光を反射させる方向を周期的に変えながら突起部3の頂点部に設けられた光出射部5に向かい、光出射部5の長辺方向に走査される。

【0023】この光ピックアップの光学系7で記録媒体14に情報を記録したり再生するときの一処理としてトラッキングエラー検出とトラッキングアクチュエーションが挙げられる。記録媒体14上には、書き込みができないROMタイプの場合を除いて各トラックにトラックを案内する案内溝としてのランドグループが存在する。ガルバノミラー13によりトラック幅より小さい幅で出射光の位置が振れるように、いわゆるビームウォブリング動作をさせる。そして記録媒体14のランドあるいはグループに出射光が当たるタイミングと、そのときに記録媒体14から反射してガルバノミラー13とビームスプリッタ10及びコリメートレンズ9bを通してPD12に入射する反射光の強度からウォブリングする出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置とのずれを検出でき、いわゆるトラックエラー検出を行うことができる。また、この値から、PD12からガルバノミラー13への制御回路により出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるようにガルバノミラー13を制御することができる。

【0024】また、記録媒体14に記録したり再生するとき、ガルバノミラー13を揺動することによりレーザ光を反射させる方向を変え、光プローブ1の突起部3の頂点部に設けられた光出射部5の長辺方向に走査することにより、記録媒体14の複数トラックに記録あるいは再生を行うことができる。すなわち、記録媒体14と光

プローブ1のギャップを小さくするために光プローブ1を記録媒体14に接触スライディングをさせる場合がある。この場合、摩擦、摩耗の観点からすると記録媒体14の回転速度は遅い方が良い。このように記録媒体14の回転速度を遅くすると記録・再生速度が遅くなってしまう。これに対して、光プローブ1の光出射部5の長辺は複数トラックの長さを持っているので、図4に示すように、光出射部5の長辺を記録媒体14のトラック15と直交するように、サスペンション16を介して光プローブ1を記録媒体14上に位置決めし、記録、再生するビームを振らせることにより、複数のトラック15に対して記録あるいは再生を行うことができ、実質的に記録再生速度を向上させることができる。特にトラッキング動作をする場合は、光出射部5の長辺方向は2トラック分の寸法があれば良い。

【0025】また、光プローブ1の突起部3の頂点の光出射部4を例えば長円形状や長方形形状等のいわゆる細長形状とすることにより、モード間干渉により発生する略楕円状のビームスポットの長軸方向、すなわち入射光の偏光方向と平行な方向に対しても小スポット化を実現することができる。すなわち光プローブ1では、モード間干渉効果を利用することにより小スポット化と高効率化とが同時に達成されている。しかしながら、突起部3の頂点の光出射部5の形状が、正方形形状又は円形状あるいはそれに類する形状であるような場合、モード間干渉により発生するビームスポットの形状は楕円形状となってしまう。すなわち、入射光の偏光方向と垂直な方向に対してはビームスポット径が小さくなり、回折限界を超えた高分解能化が達成可能であるが、入射光の偏光方向と平行な方向に対してはビームスポット径が半波長程度までにしか小さくならず高分解能化が困難であった。これに対して、突起部3の頂点の光出射部5の形状を、入射光の偏光方向と平行な方向が短辺となり、入射光の偏光方向と垂直な方向が長辺となるような長方形形状とすることにより、小スポット化が困難であった入射光の偏光方向と平行な方向に対しては光出射部5の短辺によって光が閉じ込められ、入射光の偏光方向と平行な方向に対してもビームスポットの小スポット化を実現することができ、より高分解能化と高効率化とを実現することができる。

【0026】このような突起部3の光出射部5の形状として具体的には、光プローブ1に入射するレーザ光の波長を $\lambda$ 、マイクロレンズ4と基板2及び突起部3の屈折率をnとすると、長辺の長さaは、 $a \geq \lambda / 2n$ の範囲、すなわち、長辺の長さaは最低次モードのカットオフ径( $\lambda / 2n$ )以上であることが必要である。また、短辺の長さbは、 $a > b$ を満たすことが必要である。具体的には、シリコン(屈折率n=3.6)からなる突起部3において、波長 $\lambda$ を780nmとした場合、 $a > 108\text{ nm}$ となる。なお、最低次モードのカットオフ径( $\lambda / 2n$ )以上

となるように長辺の長さaを設定すれば、短辺の長さbはいくらでも小さくしても構わない。

【0027】また、小さい光スポット径を得るための高開口数のマイクロレンズ4、例えば固浸レンズ(Solid Immersion Lens、以下SILといふ)を用いれば良い。例えば、真空中における波長入が780nmの光を用い、SILからなるマイクロレンズ4の開口数を1、突起部3を形成するSiの屈折率nを3.7とすると、入射してくる波面等の条件にもよるが、実際に得られる波面の条件で考えると、SILからなるマイクロレンズ4により突起部3の先端に集光されるピーク値の $1/e^2$ になるビーム径は約170nm、ピーク値の半値になるビーム径は約100nmになる。この突起部3の光出射部5の短辺の長さbを数10nm、例えば50nmにすることによりスポットの大きさは短辺の長さbにより制限され、記録密度をより向上することができる。

【0028】また、マイクロレンズ4と基板2及び突起部3を高屈折率材料であるSiで形成しているから、マイクロレンズ4と基板2及び突起部3における光の波長は、マイクロレンズ4としてガラスを使用した場合より短くなる。具体的にはガラスの屈折率は約1.5であるので、Si内での波長はガラスの場合の0.4倍になる。例えば真空中で波長750nmの光はSi内では約200nmになる。このようにマイクロレンズ4と基板2及び突起部3内で光の波長が短くなるので、スポットの大きさはマイクロレンズ4としてガラスを使用した場合の0.4倍になり、より高密度な記録を実現することができる。

【0029】また、図5に示すように、光プローブ1の基板2のマイクロレンズ4側の外周部に補強部17を設けることにより、光プローブ1の剛性を高めることができるとともに、マイクロレンズ4を容易に作製することができる。

【0030】この光プローブ1の作製方法を図6の工程図を参照して説明する。まず、図6(a)に示すように、厚さが数100μmの単結晶Si基板21上に厚さが約1μmのSiO<sub>2</sub>層22と厚さが約5~10μmの単結晶Si層23が積層されているいわゆるSOI基板20を用いる。この単結晶Si層23の屈折率は、波長入=780nmにおいて屈折率n=3.7と非常に高い。また、5μm程度の厚さだと40%程度の透過率を示す。この単結晶Si層23の突起部3を作製する部分に、(b)に示すように、フォトレジストなどで突起形状樹脂24を形成する。この突起形状樹脂24をマスクにして、(c)に示すように、突起部3を単結晶Si層23に形成する。次に、(d)に示すように、単結晶Si層23と突起部3の表面に金属膜25を堆積する。そして(e)に示すように、突起部3の先端部分の金属膜25をFIBあるいは化学機械研磨などで除去して、単結晶Si層23の表面と突起部3の側面に金属遮光膜6を形成する。次に、(f)に示すように、突起部3が形成された部分

に対応する単結晶Si基板21とSiO<sub>2</sub>層22の中央分を除去し、露出した単結晶Si層23の突起部3と対応する位置に感光性材料(レジスト)を塗布する。この塗布する感光性材料の厚さは、単結晶Si層23に形成するマイクロレンズ4の高さと、後に感光性材料をマスクとしてエッチングを行うSi材料のエッティング速度と感光性材料のエッティング速度との比(選択比)により設定する。例えば、両者のエッティング速度が等しい場合(選択比1)には、感光性材料の高さは形成するマイクロレンズ4の高さと等しくする。また、Si材料のエッティング速度が感光性材料のエッティング速度より2倍大きい場合(選択比2)には、感光性材料の高さはマイクロレンズ4の高さの1/2で良い。この感光性材料としては、通常の半導体製造に用いられるフォトレジストあるいは感光性ドライフィルムを使用する。具体的には、OPFR-800(ポジ型レジスト)、OMR-85(ネガ型レジスト)などを用いれば良い。このポジ型あるいはネガ型レジストの選択によりフォトリソ工程に用いる写真マスクの形状が変化するが、基本的な形成手順は変わらない。感光性材料としてポジ型レジストを使用した場合は、感光性材料の上にマイクロレンズ4の径と同等のパターンを形成したマスク(フォトマスク)を介して光を照射し、感光性材料を感光させたのち現像する。この現像により、単結晶Si層23にマイクロレンズ径と同等のパターン樹脂が残る。この残存したパターン樹脂に対して熱や圧力を加え、重力および表面張力の効果により、(g)に示すように、凸レンズ形状樹脂26を形成する。ここで作用させる温度と圧力はパターン樹脂の形状により異なるが、温度は200~400°C、圧力は1~10気圧の範囲で選べば良い。この形成した凸レンズ形状樹脂26をマスクとして単結晶Si層23を垂直な方向にエッティング(異方性エッティング)して、(h)に示すようにマイクロレンズ4を作製する。このエッティングの手段としては、半導体製造プロセスで通常用いられるドライエッティングが可能である。具体的には反応性イオンエッティング法(RIE)や電子サイクロトロン共鳴エッティング法(ECR)などである。ドライエッティングに用いるガスは基板材料により選択する。例えば基板材料がSiの場合は、CF<sub>4</sub>やCH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>あるいはSF<sub>6</sub>などを用いる。また、エッティング速度や選択性の調整のために上記のエッティングガスに、N<sub>2</sub>やO<sub>2</sub>あるいはArなどのガスを混入しても良い。

【0031】このようにしてマイクロレンズ4を突起部3に近づけて配置できるので開口数NAを高くすることができる、光利用効率の向上と記録密度の向上を図ることができる。

【0032】また、マイクロレンズ4を作製するためのフォトレジストパターンを形成する方法としては、ここで挙げたリフローの方式の他に、図7に示すようないわゆる中間調マスクパターンのフォトマスク24aを使つ

ても良い。さらに、マイクロレンズ4としては必ずしも球面レンズである必要ではなく、非球面レンズや楕円形レンズでも良い。

【0033】また、図8に示すように、光プローブ1の突起部3の頂点に設けられた光出射部5の長辺方向に一定間隔例えば50nm程度の間隔を置いて複数の遮光部18を設け、光出射部5を複数の微小領域に分割して配置しても良い。この複数の遮光部18の間隔は、突起部3の頂点部分に形成するレジストパターンで決まり、その寸法精度は非常に高くすることができる。

【0034】この場合、光プローブ1に入射して光出射部5の長辺方向に走査されるレーザ光は、光出射部5の長辺方向の微小領域から記録媒体14に順次出射され、高速記録と再生を実現することができる。また、光出射部5を複数の微小領域に分割する遮光部18の間隔は突起部3の頂点部分のフォトリソ・エッチングで決まるので、その間隔を記録媒体14のトラックピッチとほぼ同じにすることができる。したがって、図9に示すように、記録媒体14に形成されるトラック列に対してサスペンション16により光プローブ1を配置するときのトラック15との角度θを小さくして配置することができる。

【0035】この光出射部5を遮光部18で複数の微小領域に分割した光プローブ1の作製方法を図10の工程図を参照して説明する。まず、図10(a)に示すように、厚さが数100μmの単結晶Si基板21上に厚さが約1μmのSiO<sub>2</sub>層22と厚さが約5~10μmの単結晶Si層23が積層されているいわゆるSOI基板20を用いる。この単結晶Si層23の突起部3を作製する部分に、(b)に示すように、フォトレジストなどで突起形状樹脂24を形成する。この突起形状樹脂24を形成する際に、光出射部5を複数の微小領域に分割する遮光部18を形成する部分の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの部分だけ露光量を減らしてフォトマスクを介して露光することにより実現できる。この突起形状樹脂24をマスクにして、(c)に示すように、遮光部18を形成する部分に溝19を有する突起部3を単結晶Si層23に形成する。次に、(d)に示すように、単結晶Si層23と突起部3の表面に金属膜25を堆積する。そして突起部3の先端部分の金属膜25をFIBあるいは化学機械研磨などで除去する。この突起部3の先端部分の金属膜25を除去することにより、(e)に示すように、突起部3の頂点部分の溝19に遮光部18を残し、単結晶Si層23の表面と突起部3の側面に金属遮光膜6を形成する。次に、(f)に示すように、突起部3が形成された部分に対応する単結晶Si基板21とSiO<sub>2</sub>層22の中央分を除去し、露出した単結晶Si層23の突起部3と対応する位置に感光性材料(レジスト)を塗布し、マイクロレンズ4の径と同等のパターンを形成したマスクを介して光を照射し、感光性材料を感光させた

のち現像する。この現像により、単結晶Si層23にマイクロレンズ径と同等のパターン樹脂が残る。この残存したパターン樹脂に対して熱や圧力を加え、(g)に示すように、凸レンズ形状樹脂26を形成する。この形成した凸レンズ形状樹脂26をマスクとして単結晶Si層23を垂直な方向にエッチング(異方性エッチング)して、(h)に示すようにマイクロレンズ4を作製する。このように光出射部5を複数の微小領域に分割する遮光部18をフォトリソ・エッチングで形成することにより、遮光部18とその間隔を高精度に形成することができる。

【0036】また、図11に示すように、光プローブ1のマイクロレンズ4側にガラス基板30を設けても良い。このようにガラス基板30を設けることにより、光プローブ1の剛性をより高めることができるとともに、マイクロレンズ4を作製するフォトリソグラフィを容易にすることができます。このガラス基板30を有する光プローブ1の作成方法を図12の工程図を参照して説明する。

【0037】まず、図12(a)に示すように、厚さが数100μmの単結晶Si基板21上に厚さが約1μmのSiO<sub>2</sub>層22と厚さが約5~10μmの単結晶Si層23が積層されているいわゆるSOI基板20を用いる。このSOI基板20の単結晶Si層23の感光性材料(レジスト)を塗布し、(b)に示すように、マイクロレンズ形状のレジストパターン31とその周辺にガラス基板30を接合する部分32を残しておくようにレジストパターンを形成する。このレジストパターンを形成するとき、単結晶Si層23の平坦な面に感光性材料を塗布するから、感光性材料を均一に塗布することができ、マイクロレンズ形状のレジストパターン31を精度良く形成することができる。

【0038】このレジストパターンをマスクとして単結晶Si層23を垂直な方向にエッチング(異方性エッチング)し、(c)に示すように、マイクロレンズ4とガラス接合部33を形成する。このガラス接合部33に、(d)に示すように、ガラス基板30を乗せる。このガラス基板30としては、例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚さは0.1mmから3mm程度とする。このガラス基板30の上面と単結晶Si基板21の下面に電極34を圧接し、窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板21側の電極34に正の300V程度の電圧を約10分印加して、ガラス基板30を単結晶Siからなるガラス接合部33に接合する。このガラス基板30を接合するとき、単結晶Si基板21と単結晶Siからなるガラス接合部33の間に絶縁層であるSiO<sub>2</sub>層22があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり漏れて、接合に必要な電流が流れ、ガラス基板30をガラス接合部33に陽極接合で接合することができる。その後(e)に示す

ように、電極34を除去し、(f)に示すように、単結晶Si基板21を除去してSiO<sub>2</sub>層22も除去する。そして(g)に示すように、マイクロレンズ4に対向する突起部3を形成する単結晶Si層23の位置にフォトレジストなどで突起形状樹脂24を形成する。この突起形状樹脂24をマスクにして、(h)に示すように、突起部3を形成する。次に、(i)に示すように、単結晶Si層23と突起部3の表面に金属膜25を堆積する。そして突起部3の先端部分の金属膜25をFIBあるいは化学機械研磨などで除去して、(j)に示すように、突起部3の頂点部分に遮光部18を残し、単結晶Si層23の表面と突起部3の側面に金属遮光膜6を形成する。

【0039】このガラス基板30が取り付けられた光プローブ1の突起部3を形成するときに、単結晶Si層23にはガラス基板30が取り付けられているから、十分な剛性を有し、単結晶Si層23の厚さを薄くすることができます、形成する突起部3をマイクロレンズ4に近づけることができる。したがって開口数NAを向上することができます、光利用効率を向上することができます。

【0040】上記説明ではガラス基板30の材料として米国コーニング社製#7740を一例としてあげたが、特にこれに限定されるわけではなく、米国コーニング社製#7070や岩城硝子のSW-3等を用いることもできる。また、単結晶Si層23とガラス基板30を接合する方法として陽極接合を使用した場合について説明したが、特にこれに限るわけではなく、常温の直接接合を用いても良い。常温接合は、鏡面研磨したシリコンウェーファやガラス基板、金属基板をいわゆるRCA洗浄した後、真空チャンバ内でArのFAB(Fast Atomic Beam)を2枚の基板にそれぞれに300秒程度同時に照射した後、10MPaの圧力で圧着する。大気に戻した後の接合強度は12MPa以上になる。

【0041】この光プローブ1に入射したレーザ光を光出射部5の長辺方向に走査する偏向器12としてガルバノミラー13を設けた場合について説明したが、図13に示すように、偏向器12としてポリゴンミラー40を使用し、ビームスプリッタ10で直角に反射されたレーザ光をポリゴンミラー40で反射させる方向を周期的に変えながら光プローブ1に入射して突起部3の頂点部に設けられた光出射部5の長辺方向に走査するよりも良い。この場合、出射光の振れ幅の中心位置と記録媒体14のトラック15の中心位置を一致させるには、図11の矢印Cに示すトラッキングアクチュエーション方向にポリゴンミラー40を動かせば良い。

【0042】また、図14に示すように、偏向器12として、入力する交流電圧により偏向方向を制御する音響光学偏向器(以下、AO偏向器という)41を設け、ビームスプリッタ10で直角に反射されたレーザ光をAO変調器41で偏向方向を周期的に変えながら光プローブ

1に入射して突起部3の頂点部に設けられた光出射部5の長辺方向に走査するようにしても良い。この場合、トラッキングエラー検出のためにレーザ光をウォーリングするには、AO偏向器41に加えられる交流電圧を必要な振れ幅に対応する周波数変動を持つ交流電圧とする。これによりトラッキングエラーを検出し、この値から交流電圧周波数変動の中心周波数を制御することにより、出射光振れ幅の中心位置と記録媒体14のトラック中心位置を一致させるようにAO偏向器41を制御することができる。このAO偏向器41としては、Ti:LiNbO<sub>3</sub>やLiTaO<sub>3</sub>やZnO等を用いることができる。

【0043】また、図15に示すように、偏向器12として電気光学偏向器(以下、EO偏向器という)42を設け、ビームスプリッタ10で直角に反射されたレーザ光をEO偏向器42で偏向方向を周期的に変えながら光プローブ1に入射して突起部3の頂点部に設けられた光出射部5の長辺方向に走査するようにしても良い。この場合、記録媒体14から光プローブ1を介してPD12に入射する光をPD12で電気信号に変換して、これをフィードバック回路43に入力し交流電圧の振幅を可変してEO偏向器42を制御する信号を出力する。トラッキングエラー検出のためにビームをウォーリングするには、EO偏向器42に加えられるこの交流電圧を必要な振れ幅に対応する振幅を持つ交流電圧とする。これによりトラッキングエラーを検出し、この値から交流電圧のバイアス値を制御することにより、出射光振れ幅の中心位置と記録媒体14のトラック中心位置を一致させるようにEO偏向器42を制御することができる。このEO偏向器32としては、Ti:LiNbO<sub>3</sub>やLiTaO<sub>3</sub>等を用いることができる。

【0044】このEO偏向器42を構成する電気光学結晶44の形状は、図16(a)の正面図と(b)。(c)の側面図に示すように立方体で、光の透過するx方向に長く、電極45が形成されている面に垂直なz方向に薄いことが好ましい。電極45のy方向の長さ(幅)はx方向に関して変化するように形成されている。この電極45の最も単純な形は直角三角形又は図16に示すように台形である。この電気光学結晶44は電界を印加することで屈折率が変化する。ここでは、特に、電界に比例して屈折率が変化するポッケルス効果を利用する。この電気光学結晶44は電極45が形成されている部分のみに電界が印加されるので、電圧源46から電極45に電圧が印加されて生じる電界により、電極45の部分の屈折率が他の部分のそれよりも増加又は減少する。これによりスネルの式から電気光学結晶44を透過する光は電気光学結晶44内で屈折して出射する光は偏向する。この出射した光を光プローブ1に照射することにより、突起部4の先端の光出射部5の長辺方向に走査することができる。

**[0045]** 一般に、ポッケルス効果における結晶の屈折率の状態を表す屈折率楕円体の式は電気光学定数テンソルと印加電界ベクトルを用いて下記(1)、(2)式

$$B_{11}x^2 + B_{22}y^2 + B_{33}z^2 + 2B_{23}yz + 2B_{31}zx + 2B_{12}xy = 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{ただし、} \begin{bmatrix} B_{11} - \frac{1}{n_e^2} \\ B_{22} - \frac{1}{n_e^2} \\ B_{33} - \frac{1}{n_e^2} \\ B_{23} \\ B_{31} \\ B_{12} \\ B_{11} \\ B_{22} \\ B_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{23} & r_{32} & r_{33} \\ r_{31} & r_{21} & r_{11} \\ r_{12} & r_{31} & r_{22} \\ r_{11} & r_{22} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2)$$

**[0047]** 電気光学結晶44としてLN結晶(LiNbO<sub>3</sub>)を使用した場合、電気光学定数テンソルの各成分の値は下記(3)式に示すようになる。

**[0048]**

**[数2]**

$$\begin{cases} r_{11} = 30.8 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{12} = r_{21} = 8.6 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{22} = -r_{12} = -r_{33} = 3.4 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{33} = r_{13} = 22 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \end{cases} \quad \dots\dots\dots(3)$$

**[0049]** 図17に示すように、LN結晶からなる電気光学結晶44の光学軸であるz軸方向に電界E<sub>z</sub>を印加し、光がx方向へ伝搬した場合を考える。ここで光学軸とは、結晶中を伝搬する伝搬光が偏光に依存無く、常に常光線となる方向をいう。上記(1)～(3)式より屈折率楕円体は下記(4)式になる。

**[0050]**

**[数3]**

$$\left(\frac{1}{n_e^2} + r_{11}E_z\right)y^2 + \left(\frac{1}{n_e^2} + r_{33}E_z\right)z^2 = 1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

**[0051]** ここで屈折率n<sub>x</sub>、n<sub>z</sub>は電界E<sub>z</sub>=0のときのy偏光の屈折率n<sub>y</sub>とz偏光の屈折率n<sub>z</sub>を表す。そして電界E<sub>z</sub>を印加したことによる屈折率変化は少ないので、下記(5)式のように近似することができる。

**[0052]**

**[数4]**

$$|r_{11}n_e^2E_z| \ll 1, |r_{33}n_e^2E_z| \ll 1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

**[0053]** この近似により、屈折率楕円体は下記(6)式で表せる。

**[0054]**

**[数5]**

で表せる。

**[0046]**

**[数1]**

$$\frac{y^2}{n_e^2 \left(1 - n_e^2 r_{11} \frac{E_z}{2}\right)} + \frac{z^2}{n_e^2 \left(1 - n_e^2 r_{33} \frac{E_z}{2}\right)} = 1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

**[0055]** したがってy偏光とz偏光で屈折率は下記(7)式のように変化する。

**[0056]**

**[数6]**

$$\begin{cases} n_y = n_e - n_e^2 r_{11} \frac{E_z}{2} \\ n_z = n_e - n_e^2 r_{33} \frac{E_z}{2} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(7)$$

**[0057]** ここで図18に示すように屈折率分布をもつ領域を作り、ビーム径Dの光を伝搬させるときのことを考える。図18でビームの上端を通る光(ビームAという)とビームの下端を通る光(ビームBという)に注目すると、ビームA、Bが結晶を通り抜けるのにかかる時間T<sub>A</sub>、T<sub>B</sub>は光の速度をc<sub>0</sub>とすると下記(8)式と(9)式で表せる。

**[0058]**

**[数7]**

$$T_A = \frac{L}{c_0} n_y \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$T_B = \frac{L}{c_0} (n_z - \Delta n) \quad \dots\dots\dots(9)$$

**[0059]** したがってビームAが結晶端に達したときビームBは下記(10)式で示す距離△xだけ結晶を飛び出している。

**[0060]**

**[数8]**

$$\Delta x = (T_A - T_B)c_0 = L \Delta n \quad \dots\dots\dots(10)$$

**[0061]** したがって光は位相をそろえるため下記(11)式に示す角度θだけ偏向することになる。

**[0062]**

**[数9]**

$$\theta = \tan \theta = \frac{1}{D} \Delta x \quad \dots \dots \dots (11)$$

【0063】さらに、このビームがガウシアンビームのウェイストに置かれていたとした場合、無限遠での回折広がり半頂角は下記(12)式となる。

#### 【0064】

【数10】

$$\theta_{\perp} = \frac{\lambda}{x/2} \quad \dots \dots \dots (12)$$

【0065】この(12)式から、集光したときに1スポット半径のN個分スポットを動かすことができる量(分解点数Nという)は下記(13)式で表せる。

#### 【0066】

【数11】

$$N = \frac{\theta_{\perp}}{\theta_{\perp}} = \frac{\pi \Delta x}{2\lambda} \quad \dots \dots \dots (13)$$

【0067】以上のことから、LN結晶からなる電気光学結晶44に直角三角形又は図16に示すように台形の電極45を設けることにより偏向器として使用することができる。また、(7)式と(13)式を用いてLN結晶に入射した光の分解点数Nは下記(14)式と表せる。

#### 【0068】

【数12】

$$N = \begin{cases} \frac{\pi b^2 r_n E_1}{4\lambda} & \text{y偏光の場合} \\ \frac{\pi b^2 r_n E_1}{4\lambda} & \text{z偏光の場合} \end{cases} \quad \dots \dots \dots (14)$$

【0069】LN結晶の場合、 $r_{z,z} > r_{z,s}$ 、 $n_z = n_s$ であるため、偏向の効果が大きい光学軸に平行な、すなわちz軸方向の偏光(z偏光)の光を入射させる。また、トラッキング信号検出を可能とするためには、記録されているマークの中心からビームをその半径程度移動させる必要がある。すなわち、偏向素子に求める分解点数は1以上が必要となる。これを目標にLN結晶を使用した例えは厚さが2mmで幅wが10mmで長さが40mmの電気光学結晶44に例えは図19に示すように、端部に勾配が2/40の傾斜を有する電極45を作製した。このような大きさをもつ偏向器では光学軸に平行な偏光に対して分解点数Nは下記(15)式となり、160V程度で分解点数N=1を実現できる。ここで、波長は830nm、屈折率n<sub>s</sub>=2.2とした。

#### 【0070】

【数13】

$$N = \frac{\pi b^2 r_n E_1}{4\lambda} = 1.28 \times 10^{-3} V \quad \dots \dots \dots (15)$$

【0071】このLN結晶からなる電気光学結晶44に、図20に示すように、光学軸に平行に電界を印加し、かつ光学軸方向に平行な直線偏光の光E<sub>x</sub>をx軸方

向に入射した場合の出射ビームの移動量(偏向量)を図21(b)に、垂直な光E<sub>y</sub>のそれを図21(a)に示す。両者を比較すれば明らかのように、前者の場合の方が、移動量が大きいことが解る。すなわち、より低い電圧でビームを振ることができる。

【0072】次にEO偏向器42としてドメイン反転(強誘電体分極反転)型の電気光学結晶を使用した場合について図22(a)の上面図と(b)の断面図により説明する。このEO偏向器42は、電極45に電圧源46より電圧を印加すると電気光学結晶44に電界が発生する。このEO偏向器42は、(a)に示すように複数の電気光学結晶44が楔形をしていて交互にスタックされ、斜線で示した部分44aとそれ以外の部分44bは、同じ電界が掛かった場合に生じる屈折率の変化が異なるようになっている。それぞれは楔形をしていて交互にスタックされている。ここで、図22に示すように光学軸と垂直なx方向に光47が入射すると、斜線の部分44aとそれ以外の部分44bの境界で屈折率差による屈折が生じる。この現象は光47が境界を通るたびに生じるので、EO偏向器42から出射する光は偏向される。この偏向の度合いは電極45に印加する電圧により制御できるので、このEO偏向器42から出射した光を光プローブ1に照射することにより、光プローブ1の突起部3の先端に設けた光出射部5を走査することができる。

【0073】また、このEO偏向器42において、楔形をしていて交互にスタックされている電気光学結晶44の斜線の部分44aとそれ以外の部分44bで光学軸方向を反対になるようにすると、電極45に印加する電圧と消費電力がより低くすることができ、より効率を向上することができる。

【0074】次に前記のように構成された光プローブ1と光学系7を有する光ピックアップ50の全体構成を図23の斜視図に示す。記録媒体14の上には近接場光を発生する光プローブ1が配置され、記録媒体14が回転することにより生じる空気流により光プローブ1は記録媒体14の表面から数10nm浮上したり、あるいは接触状態でスライドする。光プローブ1はサスペンション16を介してアーム51に接続されている。アーム51には光学系7と偏向器12と集光素子52が搭載され、アームモータ53により移動させられる。このアーム51の移動により光プローブ1が記録媒体14上の所望のトラック上に移動し、搭載された光学系7と偏向器12と集光素子52も光プローブ1と一緒に移動する。したがって、自動的に光学系7から発したレーザ光は光プローブ1に照射されるので、光学系7と光プローブ1をアライメントするアクチュエータや制御系を設けなくて済む。また、偏向器12として細長い形状であるAO偏向器41やEO偏向器42をアーム51上に寝かせて搭載することができるので、アーム51を薄型でコンパ

50 搭載することができるので、アーム51を薄型でコンパ

クトに構成することができる。

【0075】この光ピックアップ50の光プローブ1とアーム51と光学系7と偏向器12及び集光素子52の配置を図24に示す。図24(a)に示す偏向器12は例えばEO偏向器42からなり、集光素子52はEO偏向器42と同じ材料でEO偏向器42と一緒に形成された直角プリズム54からなり、傾斜面に反射膜55を有し、光プローブ1の直上に配置されている。集光素子52と光プローブ1の光路に対応するアーム51の部分には穴が空いているか、例えばガラス等の透光性の素材がはめ込まれている。偏向器12により偏向された光は集光素子52の反射膜55で反射し光プローブ1に入射しマイクロレンズ4により集光される。これにより、トラッキングあるいは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。また、マイクロレンズ4を光プローブ1に設けてあるので、光プローブ1には平行光のままで光を照射でき、集光素子52から照射する光と光プローブ1のアライメントはマイクロレンズ4と突起部3の位置関係で決まり、光プローブ1を作製するときに高精度に決定すれば、使用時には両者間の位置関係は変わらないので、集光素子52から照射する光と光プローブ1間のアライメントに必要とされる精度を緩和することができる。

【0076】この集光素子52としては、図24(b)に示すように、偏向器12と独立して設けた直角プリズム56の傾斜面に反射膜55を設け、直角プリズム56を透光性の接着剤で偏向器12と結合しても良い。また、図24(c)に示すように、例えばEO偏向器42等と同じ材料で偏向器12と一緒に形成され反射型レンズ57又はEO偏向器42等と同じ材料で偏向器12と独立して形成された反射型レンズ57の球面に反射膜55を設けて集光素子52としても良い。このように集光素子52として反射型レンズ57を使用することにより、反射型レンズ57と光プローブ1のマイクロレンズ4との2つのレンズを組み合わせることができ開口数NAをより向上して集光スポット径を小さくでき、光利用効率を高くすることができます。なお、集光素子52を形成する直角プリズム54、56や反射型レンズ57に設けた反射膜55はEO偏向器42等と電極とは電気的に接続されていない方が望ましい。また、図25に示すように、集光素子52と光プローブ1の間に集光レンズ58を設けることにより、集光スポット径をより小さくすることができる。

【0077】前記説明では光プローブ1のマイクロレンズ4として凸レンズを使用した場合について説明したが、図26(a)、(b)の断面図に示すように、屈折率n1の高屈折率材料61と屈折率n2が屈折率n1よりも大きい高屈折率材料62を使用し、屈折率n2の高屈折率材料62でレンズ部を形成したり、(c)に示すように、高屈折率材料63で形成した凸レンズ64を対向

して設けても良い。

【0078】また、光プローブ1の基板2の表面に設けた金属遮光膜6の厚さを、図27に示すように、突起部3の高さと同じになるように形成しても良い。このように突起部3の先端部と金属遮光膜6の表面を同じ面にすることにより、突起部3を記録媒体14と対向させて使用する場合、突起部3の頂点部分に応力が集中することを防ぐことができ、突起部3を破損せずに安定して使用することができる。

【0079】また、上記説明では光プローブ1を単結晶Siで作製した場合について説明したが下記の材料で光プローブ1を作製しても良い。単結晶Si、SiO<sub>2</sub>、Ge、ガラス、結晶石英、C(ダイヤモンド)、アモルファスSi、マイクロクリスタル(微小結晶)Si、多結晶Si、Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>(x,yは任意)、TiO<sub>2</sub>、ZnO、TeO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S、LiGaO<sub>2</sub>、BaTiO<sub>3</sub>、SrTiO<sub>3</sub>、PbTiO<sub>3</sub>、KNbO<sub>3</sub>、K(Ta,Nb)O<sub>3</sub>(KTN)、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>、(Pb,La)(Zr,Ti)O<sub>3</sub>、(Pb,La)(Hf,Ti)O<sub>3</sub>、PbGeO<sub>3</sub>、Li<sub>2</sub>GeO<sub>3</sub>、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、(Sr,Ba)Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>、La<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、Nd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、Ba<sub>2</sub>TiSi<sub>1/2</sub>O<sub>6</sub>、Pb<sub>5</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>11</sub>、Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>、Bi<sub>4</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>、Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>、Gd<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>、(Gd,Bi)<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>、Ba<sub>2</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub>、Bi<sub>2</sub>GeO<sub>3</sub>O、Bi<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>、Ca<sub>2</sub>Al<sub>1/2</sub>O<sub>3</sub>、LiF、NaF、KF、RbF、CsF、NaCl、KCl、RbCl、CsCl、AgCl、TlCl、CuCl、LiBr、NaBr、KBr、CsBr、AgBr、TlBr、LiI、NaI、KI、CsI、Tl(Br,I)、Tl(Cl,Br)、MgF<sub>2</sub>、CaF<sub>2</sub>、SrF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>、PbF<sub>2</sub>、Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>、FeF<sub>3</sub>、CsPbCl<sub>3</sub>、BaMgF<sub>4</sub>、BaZnF<sub>4</sub>、Na<sub>2</sub>SbF<sub>6</sub>、LiClO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O、CdHg(SCN)<sub>4</sub>、ZnS、ZnSe、ZnTe、CdS、CdSe、CdTe、a-HgS、PbS、PbSe、EuS、EuSe、GaSe、LiInS<sub>2</sub>、AgGaS<sub>2</sub>、AgGaSe<sub>2</sub>、TiInSe<sub>2</sub>、TiInS<sub>2</sub>、TlGaS<sub>2</sub>、TlGaS<sub>2</sub>、As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>、As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>、Ag<sub>3</sub>As<sub>2</sub>、Ag<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>、CdGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub>、CdCr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>、Tl<sub>2</sub>Ta<sub>3</sub>S<sub>4</sub>、Tl<sub>2</sub>TaSe<sub>4</sub>、Tl<sub>2</sub>VS<sub>4</sub>、Tl<sub>2</sub>AsS<sub>4</sub>、Tl<sub>2</sub>PS<sub>4</sub>、GaP、GaAs、GaN、(Ga,Al)As、Ga(As,P)、(InGa)P、(InGa)As、(Ga,Al)Sb、Ga(AsSb)、(InGa)(AsP)、(GaAl)(AsSb)、ZnGeP<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>、NaNO<sub>3</sub>、a-HIO<sub>3</sub>、a-LiIO<sub>3</sub>、KIO<sub>3</sub>F<sub>2</sub>、FeBO<sub>3</sub>、KB<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·4H<sub>2</sub>O、BeSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KD<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>、KD<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>、CSH<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>、CsD<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub>、KTiOPO<sub>4</sub>、RbTiOPO<sub>4</sub>、(K,Rb)TiOPO<sub>4</sub>、PbMoO<sub>4</sub>、a-Gd<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>、a-Tb<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>、Pb<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>、Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>、K<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>·KCl、YVO<sub>4</sub>·Ca<sub>3</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>、Pb<sub>5</sub>(GeO<sub>4</sub>)(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>、CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、Li(COOH)·H<sub>2</sub>O、Sr(COOH)<sub>2</sub>、(NH<sub>4</sub>CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、(ND<sub>4</sub>CD<sub>2</sub>COOD)<sub>2</sub>·D<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、(NH<sub>4</sub>CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>BeF、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O、C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>N<sub>6</sub>O<sub>4</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>3</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>Br、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>Cl、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(NH<sub>2</sub>)OH、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·HCS、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·HRb、C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>OKH(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>)、ClOH11N<sub>3</sub>O<sub>6</sub>、[CH<sub>2</sub>·CF<sub>3</sub>]<sub>n</sub>。

【0080】

【発明の効果】この発明は以上説明したように、高屈折率材料で形成された基板と同じ材料で形成され、外壁に先細のテーパー面を有し、先端部に細長形状の光出射部

を有する突起部と対向する面に、基板と同じ材料で形成された集光レンズを設けることにより、集光レンズに入射した光が集光レンズと基板の境界で反射することを防止し、入射した光を有効に利用することができ、光の利用効率を高めることができる。また、入射した光を集光レンズで光出射部に集光するから、光出射部に非常に小さな光スポットを実現でき、記録密度を向上するとともに精度の高いトラッキング制御を実現することができる。

【0081】また、突起部の先端部に設けた光出射部に複数の遮光部を細長形状の長辺方向に略等間隔で複数個配設して、光出射部をスリット状に分割することにより、光出射部に、より小さい光スポットを実現することができ、高速な入出力ビットレートを実現することができる。

【0082】さらに、集光レンズの外周部に補強部材を設けることにより、光プローブの剛性を高め、集光レンズを突起部に近づけて配置することができ、開口数を向上させて、光利用効率と記録密度の向上を図ることができる。

【0083】また、集光レンズ側に透光性基板を設けることにより、光プローブの剛性をより高めるとともに、集光レンズを容易に作製することができる。

【0084】また、集光レンズと基板及び突起部の屈折率をn、集光レンズに入射する光の波長を $\lambda$ としたとき、突起部の先端に設けた細長形状の光出射部の長辺の長さaと短辺の長さbを、 $a \geq (\lambda / 2n)$ 、 $b < (\lambda / 2n)$ の条件を満たすように光出射部の形状を定めることにより、光出射部に小さい光スポットを安定して実現することができる。

【0085】また、この光プローブを有する光ピックアップの、記録再生用の光を出射する光学系と光プローブの間に、光学系から出射する光を偏向して光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に走査する光偏向手段を設けることにより、光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に安定して光を走査することができ、高速な入出力ビットレートを実現することができる。

【0086】この光偏向手段としてガルバノミラーや回転多面鏡あるいは音響光学偏向器又は電気光学偏向器を使用することにより、簡単な構成で光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に安定して光を走査することができる。

【0087】また、電気光学偏向器は立方体の電気光学結晶で構成し、光が透過する方向と平行な電極を形成し、電極の幅は光が透過する方向に沿って変化する形状に形成することにより、光プローブの細長形状の光出射部の長辺方向に走査する光を安定して偏向させることができ。

【0088】さらに、電気光学結晶としてLN(LiNbO<sub>3</sub>)結晶を用い、LN結晶の光学軸と平行に電界が

加えられるように電極の形状を定めることにより、簡単な構成で光プローブに入射する光を偏向させることができる。

【0089】また、電気光学結晶としてドメイン反転型の電気光学結晶を使用することにより、偏向の度合いを印加する電圧により制御でき、光プローブに入射する光を安定して偏向させることができる。

【0090】さらに、電気光学結晶に入射する光を光学軸と平行な方向の直線偏光とすることにより、より低い電圧で光を偏向させることができ、記録再生時の消費電力を低減することができる。

【0091】また、光プローブをアームの先端下部に設け、光学系と光偏向手段とともに光偏向手段からの光の光路を変えて光プローブに入射する集光手段をアームの上部に搭載することにより、偏向手段と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置の小型化や簡素化を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の光プローブの構成図である。

【図2】光プローブの構成を示す斜視図である。

【図3】光ピックアップの構成図である。

【図4】記録媒体のトラックに対する光プローブの配置図である。

【図5】第2の光プローブの構成図である。

【図6】第2の光プローブの作製方法を示す工程図である。

【図7】光プローブのマイクロレンズを作製するフォトマスクの構成図である。

【図8】第3の光プローブの構成図である。

【図9】記録媒体のトラックに対する第3の光プローブの配置図である。

【図10】第3の光プローブの作製方法を示す工程図である。

【図11】第4の光プローブの構成図である。

【図12】第4の光プローブの作製方法を示す工程図である。

【図13】第2の光ピックアップの構成図である。

【図14】第3の光ピックアップの構成図である。

【図15】第4の光ピックアップの構成図である。

【図16】EO偏向器の構成図である。

【図17】EO偏向器の電気光学結晶に対する電圧印加方向を示す模式図である。

【図18】電気光学結晶を透過するビームを示す模式図である。

【図19】EO偏向器の電気光学結晶に対する電極形状を示す配置図である。

【図20】EO偏向器に対する光の入射方向を示す模式図である。

【図21】EO偏向器に印加した電界に対する出射ビームの移動量の変化特性図である。

21

【図22】ドメイン反転型の電気光学結晶を使用したE-O偏向器の構成図である。

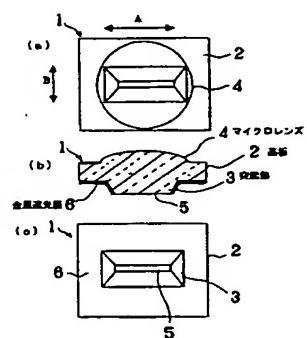
【図23】光ピックアップの全体構成図である。

【図24】光ピックアップのアームに対する光学系と偏向器と集光素子及び光プローブの配置図である。

【図25】光ピックアップのアームに対する光学系と偏向器と集光素子及び光プローブの他の配置図である。

【図26】マイクロレンズの他の構成を示す断面図である。

【図1】



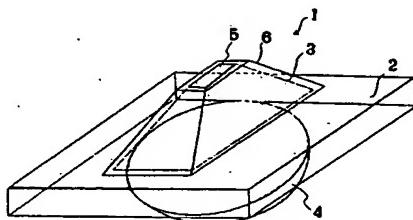
22

【図27】第5の光ピックアップの構成図である。

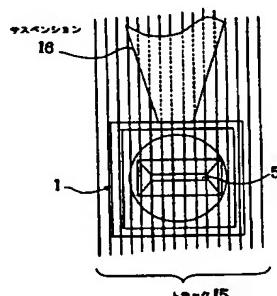
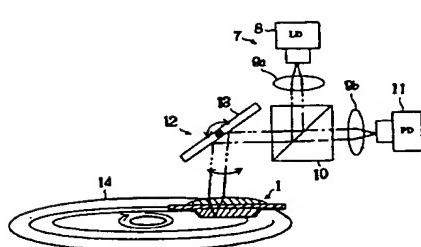
【符号の説明】

1：光プローブ、2：基板、3：突起部、4：マイクロレンズ、5：光出射部、6：金属遮光膜、7：光学系、8：LD、9：コリメータレンズ、10：ビームスプリッタ、11：PD、12：偏向器、13：ガルバノミラー、14：記録媒体、15：トラック、16：サスペンション、17：補強部、18：遮光部、40：ポリゴンミラー、41：AO偏向器、42：EO偏向器。

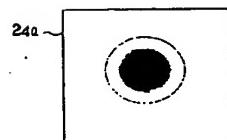
【図2】



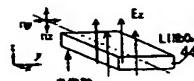
【図3】



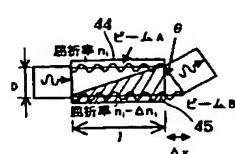
【図7】



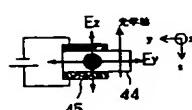
【図17】



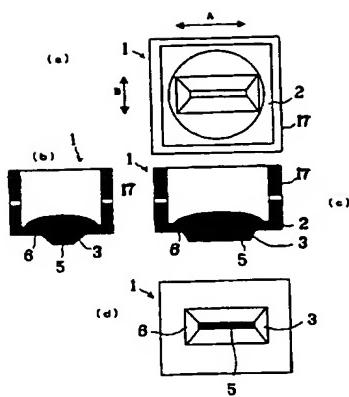
【図18】



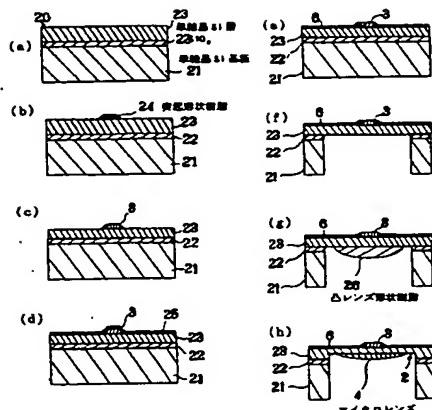
【図20】



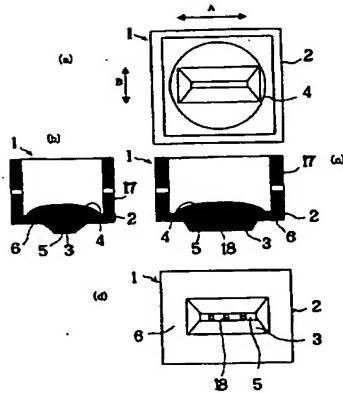
【図5】



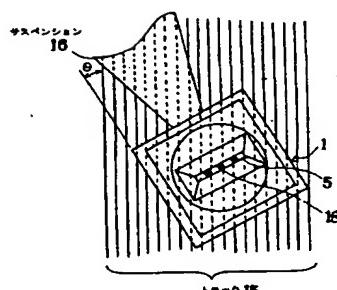
【図6】



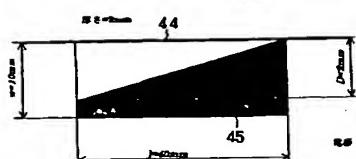
【図8】



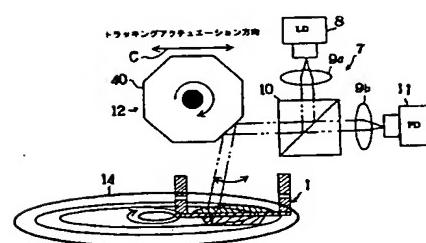
【図9】



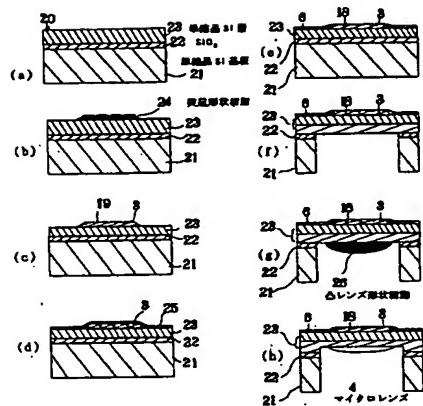
【図19】



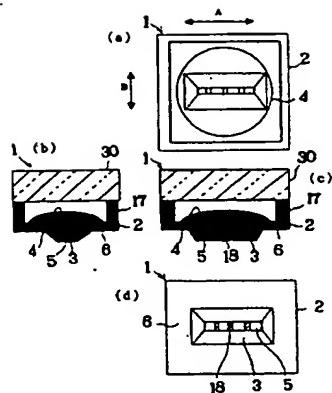
【図13】



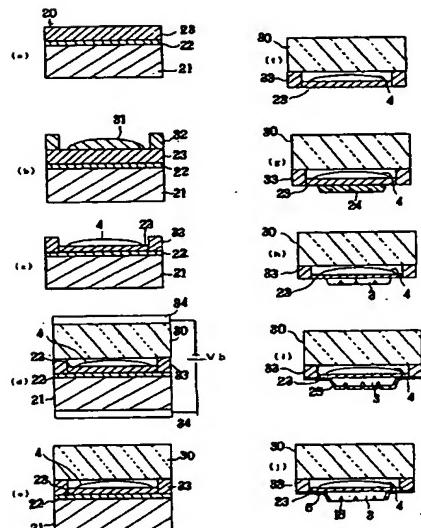
【図10】



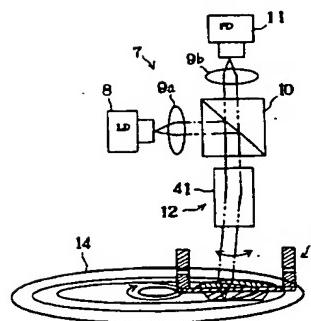
【図11】



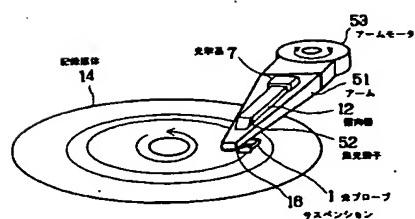
【図12】



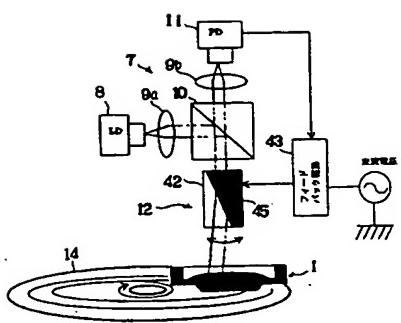
【図14】



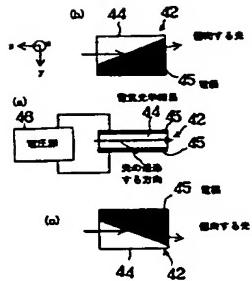
【図23】



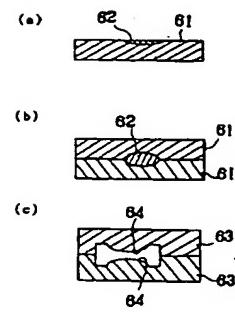
【図15】



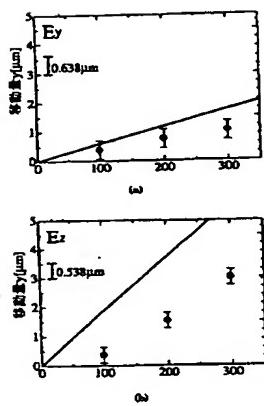
【図16】



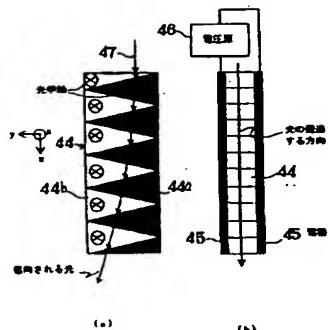
【図26】



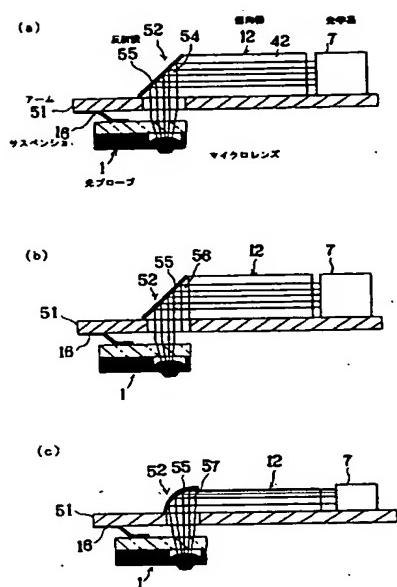
【図21】



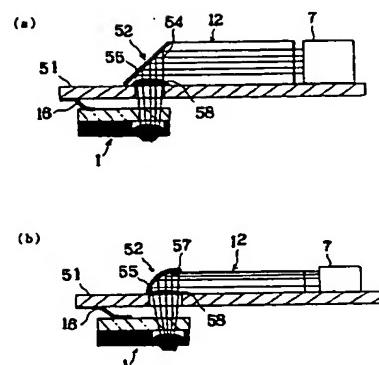
【図22】



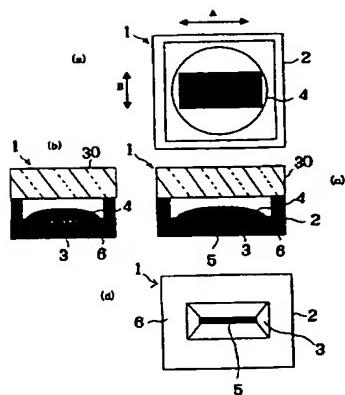
【図24】



【図25】



【図27】



## フロントページの続き

(72)発明者 三船 博庸  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式  
会社リコー内  
(72)発明者 大津 元一  
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番地1  
号 財団法人神奈川科学技術アカデミー内  
(72)発明者 興梠 元伸  
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番地1  
号 財団法人神奈川科学技術アカデミー内

(72)発明者 八井 崇  
神奈川県川崎市宮前区野川3184-21  
Fターム(参考) 5D118 AA13 CA13 DC07 DC13 DC16  
5D119 AA11 AA22 AA43 EC32 EC39  
JA34 JA43 JA52 JA54 JA55  
MA05  
5D789 AA11 AA22 AA43 CA21 CA22  
CA23 EC32 EC39 JA34 JA43  
JA52 JA54 JA55 MA05